Instituto de Física

Licenciatura Noturna de Física

PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE CURSO

FENÔMENO DO TSUNAMI: POR QUE ENSINÁ-LO?

Aluno: Almir Guedes dos Santos

Orientador: Prof. Fernando de Souza Barros

DEZEMBRO DE 2007

30/2007

I. F. U. F. R. J.
BIBLIOTECA
REGISTR. 30/2007
DATA

RESUMO

É desenvolvida nesta monografia uma tese em defesa da importância da utilização de eventos dramáticos com grande repercussão na mídia nas práticas docentes dos professores de Física do ensino médio. Por outro lado, destaca-se a idéia de que os conhecimentos ensinados na escola não devem se restringir àqueles inerentes ao cotidiano dos estudantes. Já, do ponto de vista pedagógico, é destacada a importância do ensino voltado para formar cidadãos conscientes e capazes de identificar e utilizar os vários conhecimentos num mesmo fenômeno. E neste sentido, procuramos ir além da física do fenômeno, abordando questões tradicionalmente oriundas da Geografia e da Biologia, além de abrir a opção para reflexão política, econômica e/ou social a respeito do tema.

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO----------1
1.1 - MOTIVAÇÃO DA MONOGRAFIA----------1
1.2 – CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS----------2

2 – MOTIVAÇÃO PEDAGÓGICA----------5

3 - ABORDAGEM TEÓRICA E FATOS RELEVANTES----------8
3.1 – O FENÔMENO DA DERIVA CONTINENTAL----------8
3.2 – A FÍSICA E O FENÔMENO DO TSUNAMI----------11
3.2.1 – INTRODUÇÃO ÀS ONDAS TSUNAMI----------11
3.2.2 – TRATAMENTO MATEMÁTICO PARA O ENSINO SUPERIOR--------13
3.2.2.1 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS MARÍTIMAS------13
3.2.2.2 – ENERGIA MECÂNICA TRANSPORTADA----------15
3.2.3 – PROPOSTA DE ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO----------19
3.2.4 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES----------23
3.3 – O TSUNAMI DO DIA 26 DE DEZEMBRO DE 2004----------24
3.4 – O "ANJO DA PRAIA" QUE SALVOU A VIDA DE 100 PESSOAS--------27
3.5 – O PAPEL DOS MANGUEZAIS NA DEFESA CONTRA TSUNAMIS-----28

CONCLUSÃO----------35

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS----------36

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – MOTIVAÇÃO DA MONOGRAFIA

Durante um ano e meio este autor fez iniciação científica em Sismologia (Geofísica) no Observatório Nacional sob a orientação do professor Jorge Luis de Souza. Professor Souza coordena o grupo de Sismologia e desenvolve pesquisas na área Geofísica Global: Sismologia. O autor desenvolveu trabalho de iniciação sobre *Determinação de Coeficientes de Atenuação de Ondas Sísmicas Superficiais.* Durante o período de desenvolvimento do referido trabalho o autor teve a oportunidade de adquirir e desenvolver conhecimentos na área de Sismologia, através de cursos e aulas semanais regulares. Observa-se que o autor foi assim devidamente inserido na área de Sismologia, fato que o possibilitou adquirir conhecimento e familiaridade por temas intrigantes da área, tais como os terremotos e os tsunamis. Neste contexto que se desenvolveu o presente trabalho de monografia sobre tsunami. Essa experiência do autor por um ano e meio na área de Sismologia é assim entendida como o trabalho de campo que normalmente apresenta-se nas monografias de final de curso.

O principal objetivo deste trabalho é sinalizar para professores de Física do ensino médio o potencial da metodologia ACE (aprendizagem centrada em eventos). Trata-se da utilização de eventos dramáticos que possuem grande repercussão e comoção mundial. Como exemplo, o tema tratado nesta monografia é o fenômeno do Tsunami, particularmente o que ocorreu no oceano Índico nas proximidades da Indonésia em 26 de dezembro de 2004, quando aproximadamente 280 mil pessoas morreram. Como justificativa para que esse fenômeno seja ensinado aos estudantes do ensino médio, utilizo o exemplo de uma garota inglesa de apenas 10 anos de idade que utilizou conhecimentos básicos aprendidos na escola a respeito do Tsunami para salvar a vida de aproximadamente 100 pessoas; também se destaca o fato de que na Inglaterra, historicamente, não há registro de Tsunami, tal como no Brasil.

A intenção desta proposta é ensinar o fenômeno do Tsunami na totalidade de conhecimentos envolvidos, ou seja, é abordar não somente a física do evento, mas também aspectos da Geografia, como a Teoria da Deriva Continental, e da Biologia, o ecossistema das florestas de mangues (manguezais). Além disso, o professor que tratar deste assunto terá a possibilidade de realizar discussões políticas, econômicas e/ou sociais em cima da destruição dos mangues, da falta de sistemas de alerta contra Tsunamis em determinados países, da importância da educação ambiental, entre outros.

1.2 – CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS

Já foi reconhecido (MEC/SEB, 2006) que eventos dramáticos e com grande repercussão na mídia guardam um enorme potencial de colaboração com as práticas docentes. Entretanto, apesar de todo a destaque dado pelos meios de comunicação ao Tsunami ocorrido em 26 de dezembro de 2004 no Oceano Índico (Folha Online, 08/01/2005, 13/01/2005 e 17/07/2006), (U.S. Geological Survey), é previsível que a maioria dos professores de Física não recolheu notícias nem investigou o fenômeno a fim de abordá-lo nos assuntos considerados pertinentes, como conservação de energia mecânica e/ou ondas.

O Tsunami é um tema que apesar de distante do cotidiano dos estudantes brasileiros provavelmente desperta curiosidades e interesses acima dos usuais, já que teve enorme destaque na imprensa e um profundo apelo social em todo o mundo. Uma experiência prática, porém em nível de ensino superior, que respalda esta tese é relatada no artigo *Propagação das ondas marítimas e dos tsunami* de Silveira e Varriale (2005), onde é dito que nas aulas de disciplinas de física geral o Tsunami é um tema que desperta nos alunos um interesse além de habitual. Uma outra experiência de grande relevância para essa monografia, foi o caso da garota inglesa de apenas 10 anos que, utilizando seus conhecimentos básicos a respeito do fenômeno do Tsunami, ajudou a salvar a vida de aproximadamente 100 pessoas no dia 26 de dezembro de 2004 (UOL UN, 02/01/2005), (MRE, 07/07/2007). Ou seja, a escola não deve se limitar em ensinar assuntos ligados unicamente ao cotidiano imediato dos estudantes, mas sim lhes dar condições de conhecer o máximo do que ocorre no planeta onde vivem, pois um conhecimento desnecessário hoje pode se

tornar crucial amanhã (IPCC, 2007). E além do mais, a função básica da Física no ensino médio é justamente formar cidadãos, capazes de se situarem nos acontecimentos ao seu redor, mesmos que estes apenas ocorram em países distantes (ME/SEB, 2006).

Do ponto de vista pedagógico e social, o fenômeno do Tsunami possibilita ao professor de Física promover uma integração da Física com conhecimentos da Biologia e da Geografia, a qual recebe o nome de interdisciplinaridade (ME/SEB, 2006), (Fazenda, 2001), além da possibilidade de discussões sobre questões políticas, sociais e culturais acerca das causas que tenham amplificado o seu impacto. E neste sentido, é desenvolvida uma tese sobre a importância dos mangues como barreira contra os Tsunamis (Guebas et al., 2005).

No primeiro parágrafo desta introdução foi destacada a importância dos eventos dramáticos e com grande repercussão na mídia, sendo em seguida feitos comentários a respeito do Tsunami, assunto desta monografia. Entretanto, outros eventos podem ser também utilizados, como grandes inundações, terremotos, bombas atômicas, colisões no trânsito, tornados, efeito estufa, escassez de água na Austrália e no Brasil Central, fontes de energias renováveis, conservação da fauna e da flora, reciclagem do lixo, entre tantos outros. Enfim, observa-se que são inúmeros os temas suscetíveis de serem levados para a sala de aula e utilizados como referência nas práticas pedagógicas. E todos têm algo fundamental em comum, são questões atuais e que vêm suscitando controvérsias na opinião pública, de forma que são naturalmente adequados para serem tratados na escola.

Como exemplo de questões interessantes acerca dos assuntos mencionados anteriormente, pode-se discutir para o caso das bombas atômicas [Souza-Barros, 2007 (comunicação particular - submetido)] ou do efeito estufa (IPCC, 2007), quais são suas causas e o que as pessoas podem fazer para reverter a situação atual. Especialmente importante no cenário global atual é a educação ambiental dos cidadãos do amanhã e discutir na escola assuntos como o efeito estufa, a escassez da água, as fontes de energia renováveis e a conservação da fauna e flora. Torna-se crucial no papel formador de cidadãos da Física do ensino médio (ME/SEB, 2006). E neste sentido, podem ser tratados exemplos de pessoas e organizações preocupadas com as questões ambientais, principalmente as Nações Unidas (IPCC, 2007) visando harmonizar a relação do homem com o meio ambiente. Enfim, como se pode observar, o potencial destes assuntos é muito grande não só para se

ensinar os conhecimentos tradicionais (Física, Biologia, Geografia, etc), mas também pensando na formação cidadã dos estudantes no ensino médio (ME/SEB, 2006).

No capítulo 2 desta monografia é apresentada a motivação pedagógica, na qual está presente o seu papel inovador no ensino (Hernández et al., 2000), a importância de utilização de acontecimentos dramáticos na prática docente (ME/SEB, 2006) e o seu caráter interdisciplinar dos temas envolvidos (Fazenda, 2001). No capítulo 3 serão tratados a teoria da deriva continental (assunto tradicionalmente ensinado nas aulas de geografia), a física pertinente ao fenômeno do Tsunami, algumas notícias acerca do Tsunami de 26 de Dezembro de 2004 e do "Anjo de Praia" que salvou a vida de 100 pessoas, e por fim, o papel dos manguezais na defesa contra Tsunami (assunto que tradicionalmente deveria ser tratado na Biologia ou então na Geografia).

CAPÍTULO 2

MOTIVAÇÃO PEDAGÓGICA

Os fundamentos pedagógicos desta monografia estão relacionados com a proposta inovadora de ensino, na formação dos alunos enquanto cidadãos: utilização (sistemática) na prática docente de acontecimentos com grande repercussão social; e abordagem interdisciplinar desses assuntos.

Inicialmente é preciso deixar claro que não é possível encontrar uma definição universal do que é inovação em educação. Assim, por exemplo, Vandenberghe (em Solà, 1980, p. 33) situa os conceitos e as práticas de inovação em um contínuo. Num extremo do contínuo, encontra-se o que seria o sentido sócio-pedagógico da inovação que se define em termos de pertinência como *"uma idéia, prática ou material percebido como novo por parte da unidade de adoção pertinente"* (unidade que poderá ser um país, uma comarca, uma escola, um diretor ou um professor). No extremo oposto, a inovação pode ser considerada como *"uma tentativa deliberada de levar à prática determinados objetivos (...). Em outras palavras, introduzir uma inovação em uma instância educativa implica uma mudança planejada"* com o propósito de dotar de capacidade a organização (ou o professor) para satisfazer alguns objetivos.

Outro ponto relevante é tratado por Walling e Berg (1983), que fazem a distinção entre reforma e inovação. A reforma é um processo que, em linhas principais, pretende modificar as metas e o marco global das atividades da instituição educativa, deixando em segundo plano os métodos de trabalho escolar. No entanto, falar de inovação significa modificar as formas de atuação como resposta a mudanças nos alunos e implica uma organização diferente do trabalho, para a qual devem ser utilizados métodos mais eficazes (Hernández et al., 2000). E mudança significa que o aluno utilizando a internet é diferente do aluno ouvindo o rádio. Não é possível hoje ficar indiferente numa sala de aula às informações que podem ter chegado aos alunos pela TV ou pela internet. Quantas LAN HOUSE já existem nas favelas e morros cariocas? E quantos Centros de Inclusão Digital já existem nas comunidades carentes?

Já os critérios para que uma inovação esteja ocorrendo são:

a) novas áreas de aprendizagem são introduzidas no currículo (uso de computadores, educação para a paz, para o consumo; eventos que traumatizaram o público (o Tsunami de Dezembro de 2004 ou o acidente de Congonhas de Julho de 2007).

b) práticas alternativas já existentes são desenvolvidas.

Entretanto, nas escolas, sob a denominação de inovação, incluem-se não só mudanças curriculares, mas também a introdução de novos processos de ensino e aprendizagem, de produtos, materiais, idéias e, inclusive, pessoas. Isto gera a necessidade de uma definição que destaque também o processo e a intenção da inovação. Uma acepção que contemple essa intenção seria a assinalada por González e Escudero (1987), que considera a inovação como *"uma série de mecanismos e processos que são o reflexo mais ou menos deliberado e sistemático por meio do qual se pretende introduzir e promover certas mudanças nas práticas educativas vigentes"*. Mecanismos e processos que são o reflexo de uma série de "dinâmicas explícitas que pretendem alterar idéias, concepções e metas, conteúdos e práticas escolares, em alguma direção renovadora em relação à existente".

Outro ponto de partida dos autores acima mencionados é que as inovações já estão nas escolas, que em boa medida são os professores os seus administradores, mas que é necessário aproximar-se do que acontece nas instituições para aprender criticamente com as inovações que os professores realizam. Isto significa reconhecer o caráter recorrente de algumas das propostas que foram produzidas em outros lugares e contextos, mas significa também tratar de identificar algumas formas de representar inovações que seguem um processo peculiar em sua proposição e desenvolvimento na prática (Hernández et al., 2000). A utilização da notícia do jornal é uma prática conhecida entre os professores e freqüentemente utilizada por aqueles que gostam de enriquecer sua prática pedagógica. Pelo exemplo da presente monografia, valoriza-se e se amplia essa prática com um caso dramático que apareceu na primeira página dos jornais, revistas e sites de notícias: a catástrofe causada pelo Tsunami de 26 de Dezembro de 2004 na Ásia.

O segundo alicerce pedagógico desta monografia é justamente um dos dois aspectos do ensino da Física na escola, a saber: a Física como possibilidade de compreensão do mundo visando à formação cidadã dos alunos.

Outro fundamento está no reconhecimento da metodologia ACE (aprendizagem centrada em eventos), que é uma possibilidade metodológica dentro do enfoque

CTS (ciência, tecnologia e sociedade) na qual são utilizados fatos de ampla veiculação na mídia e de importância sócio-econômica, explorando-os a partir da ciência e da tecnologia. Por extensão, este trabalho também contribui para a alfabetização científica e tecnológica (ACT) dos estudantes.

Como última justificativa pedagógica desta monografia está na interdisciplinaridade, que é uma competência crítico-analítica de representação da realidade, a qual se trata da construção de um novo saber a respeito da realidade, recorrendo-se para isso aos saberes disciplinares e explorando ao máximo os limites e as potencialidades de cada área do conhecimento. O objeto de estudo continua o mesmo, mas levará a um novo saber, que não é necessariamente da Física, da Química ou da Biologia, mas um saber mais amplo sobre aquela situação, aquele fenômeno (ME/SEB, 2006).

Segundo Fazenda (2001), os trabalhos interdisciplinares estão relacionados ao fundamento chamado parceria, que consiste numa tentativa de incitar o diálogo com outras formas de conhecimento a que não estamos habituados, e nessa tentativa a possibilidade de interpenetração delas.

CAPÍTULO 3

ABORDAGEM TEÓRICA E FATOS RELEVANTES

3.1 – O FENÔMENO DA DERIVA CONTINENTAL

Em 1915, o geólogo Alfred Wegener elaborou o modelo da deriva continental, segunda a qual há 250 milhões de anos todos os continentes estavam juntos num dos pólos terrestres formando um superbloco (ou supercontinente) chamado Pangéia. Desde então, este supercontinente começou a se separar em blocos menores (os atuais continentes) num movimento de separação que perdura até hoje. Uma evidência visual clara disto pode-se ter comparando num mapa geográfico os contornos da costa leste do Brasil e da oeste da África (Souza, 2002), (Oliva e Giansanti, 1996), as quais parecem os lados de duas peças de um quebra-cabeça que se encaixam, estimando-se que estavam juntas há cerca de 125 milhões de anos.

Este deslocamento de continentes ocorre porque a crosta terrestre não é contínua, mas fragmentada, formando placas tectônicas. As placas tectônicas são unidades que se movimentam independentemente sobre uma região pastosa do interior da Terra chamada astenosfera, têm espessura média de 100 km e atualmente existem doze (ver figura 1 das fronteiras das placas tectônicas da crosta terrestre).

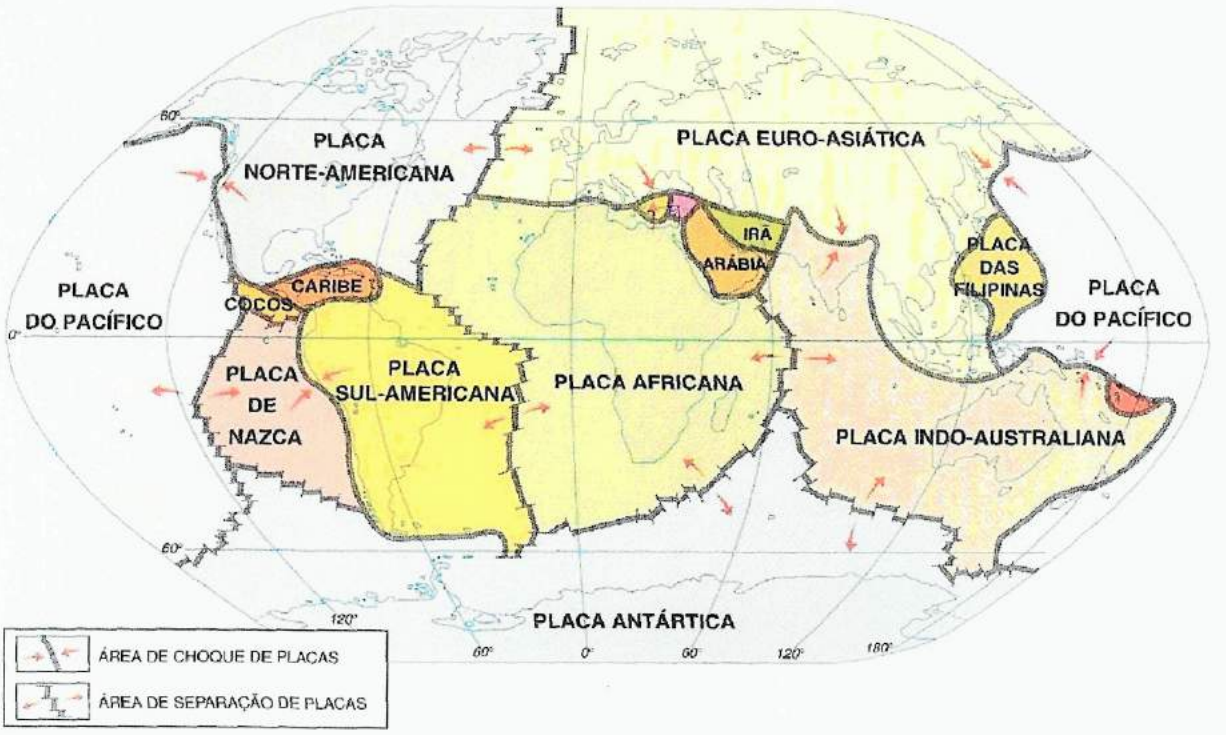

Figura1: As placas tectônicas (Ferreira, 2002).

Os deslocamentos independentes das placas provocam colisões entre elas. Essas colisões se dividem em três tipos básicos, a saber: choque frontal, raspão e afastamento (como ocorre entre o Brasil e a África) (Souza, 2002). É justamente nas áreas de contato entre as placas que há grande incidência de fossas tectônicas, vulcanismo e terremotos (tremores de terra ou sismos) (Oliva e Giansanti, 1996) (ver figura 2 das regiões com atividades sísmica e vulcânica na Terra). Como é evidenciado na figura das atividades sísmica e vulcânica, as regiões de deslizamento das placas, o armazenamento e a liberação súbita de energia de deformação mecânica provocam os terremotos. As descontinuidades da crosta terrestre ao longo da costura irregular dentre as placas são responsáveis pelos vulcões.

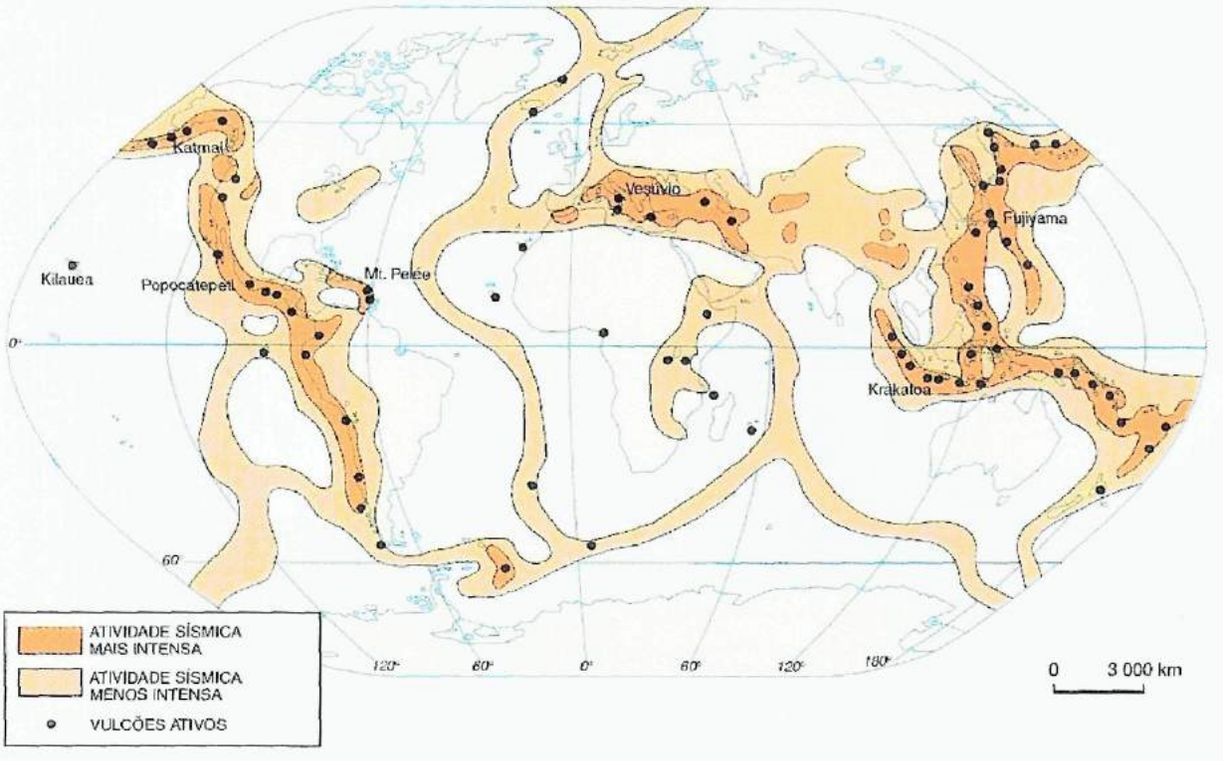

Figura 2: Regiões com atividades sísmica e vulcânica (Ferreira, 2002).

Os terremotos são definidos como a liberação súbita de energia sob a forma de ondas elásticas que ocorre entre a superfície terrestre e 650 km de profundidade, em que 90% dos casos são devido ao movimento das placas tectônicas (Souza, 2002).

Geralmente as regiões interiores das placas são mais estáveis (como no caso do Brasil) (Souza, 2002), isto é, têm poucas incidências de terremotos, os quais, quando ocorrem, são geralmente de baixa magnitude.

Nesta monografia, dentre os eventos acima mencionados, há interesse particular pelos terremotos, pois quando estes ocorrem no mar ou em suas proximidades podem produzir o fenômeno do Tsunami.

3.2 - A FÍSICA E O FENÔMENO DO TSUNAMI

3.2.1 – INTRODUÇÃO ÀS ONDAS TSUNAMI

As erupções vulcânicas, desabamentos submarinos, ou, mais comumente, deslocamentos da base do oceano são causados por movimentos das placas tectônicas (Lay e Wallace, 1995), todos originando terremotos que podem gerar ondas do tipo compressão-rarefação que se refratam para dentro do mar. As vibrações resultantes no oceano podem ser fortes o suficiente para produzirem grandes deslocamentos verticais de água (Byerly, 1942), (Bullen e Bolt, 1985), (Lay e Wallace, 1995), (Souza, 2006), gerando cristas ou depressões na superfície do oceano acima da perturbação, formando-se então a onda chamada Tsunami (palavra de origem japonesa) ou Maremoto, erroneamente conhecida no meio popular como Onda de Maré. Quando formado, o Tsunami se propaga concentricamente em todas as direções a partir do ponto de distúrbio (Bullen e Bolt, 1985), (Byerly, 1942), tal como ocorre com as ondas circulares concêntricas formadas quando atiramos uma pedra na superfície de águas tranqüilas (ver figura 3 da formação de ondas circulares na água e figura 4 do epicentro do Tsunami de 26/12/2004 do oceano Índico).

Figura 3: Ondas circulares que se formam a partir de perturbação causada por pequenos corpos que atingem a superfície da água (Paraná, Vol. 2, 1998).

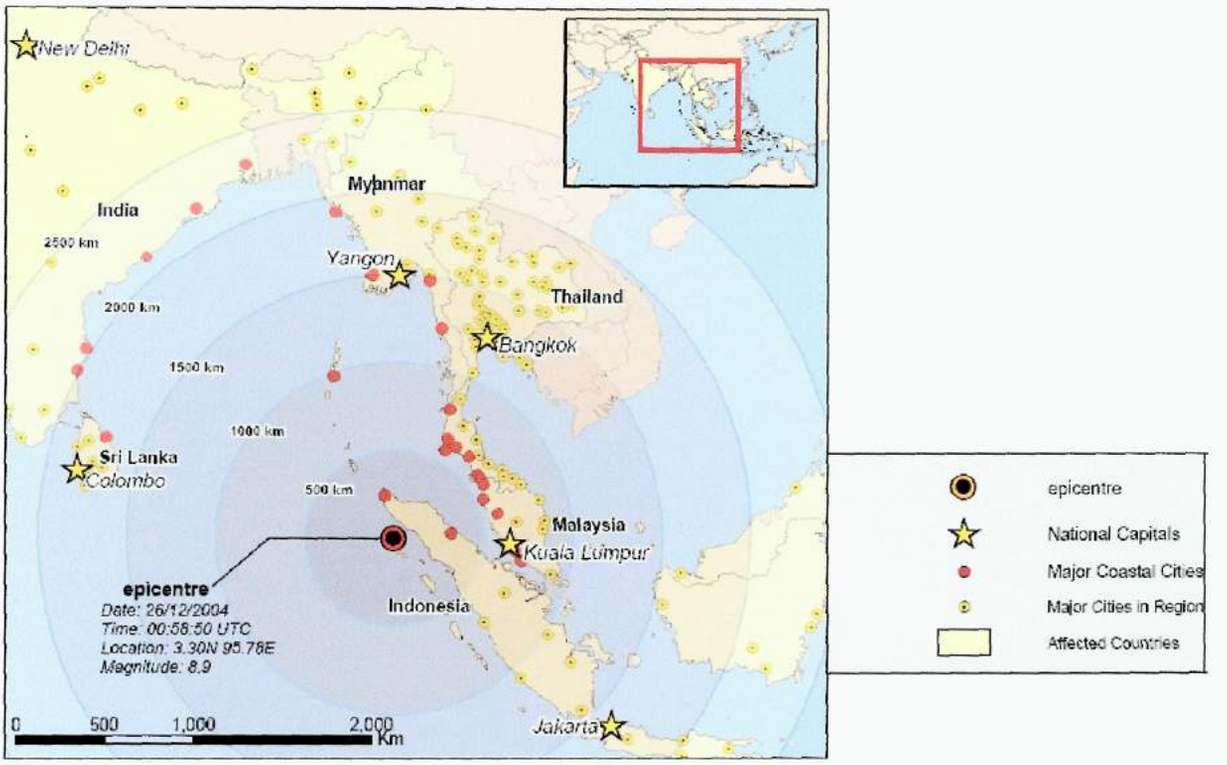

Figura 4: Localização do epicentro do Tsunami de 26/12/2004 no oceano Índico (Asian Tsunami Imagery, 2004).

O Tsunami é uma onda que em alto mar possui amplitude que se estende desde alguns centímetros até 5 – 10m e que progressivamente diminui enquanto se propaga. Além disso, é considerada onda marítima longa, pois o seu comprimento de onda principal pode chegar a algumas centenas de quilômetros e, correspondentemente, o período de onda principal pode ser da ordem de algumas dezenas de minutos. Por causa destas características ele não é percebido por barcos no mar, todavia, ao chegar em costas próximas seus efeitos podem ser grandes, já que sua amplitude aumenta podendo chegar até 30m (Byerly, 1942), (Bullen e Bolt, 1985),(Lay e Wallace, 1995).

3.2.2 – TRATAMENTO MATEMÁTICO PARA O ENSINO SUPERIOR

3.2.2.1 – VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DAS ONDAS MARÍTIMAS

As seções 3.2.2.1 e 3.2.2.2 foram fundamentadas no artigo *Propagação das ondas marítimas e dos tsunami* de Silveira e Varriale (2005).

Segundo Elmore e Heald (1985, p. 187) a velocidade de propagação (v) das ondas na superfície de líquidos é dada por

$$v = [(g\lambda/2\pi)\tanh(2\pi d/\lambda)]^{1/2} \qquad (1)$$

onde d é a espessura da lâmina de líquido, λ é o comprimento de onda e g é a intensidade do campo gravitacional.

O gráfico em escala logarítmica (*log-log*) da figura 5 representa o que ocorre com a velocidade de propagação à medida que cresce o comprimento de onda, e para isso, abrange-se grandes intervalos de comprimentos de onda e de espessuras da lâmina d'água.

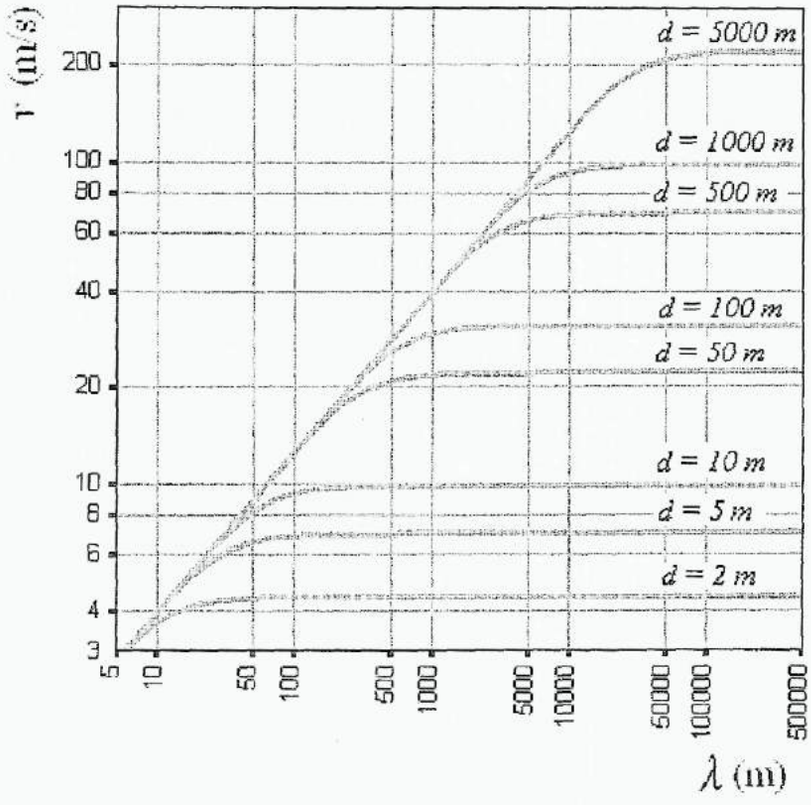

Figura 5: Variação da velocidade de propagação de ondas marítimas em função do comprimento de onda, para diversas espessuras da lâmina d'água..

Se $\lambda >> d$ vale a aproximação $\tanh(2\pi d/\lambda) \approx 2\pi d/\lambda$ que, após substituída na equação (1), fornece para a velocidade de propagação

$$v = (gd)^{1/2} \qquad (2)$$

como boa aproximação para os valores máximos observados na figura 18.

A equação (2) mostra que quando o Tsunami aproxima-se do litoral e a espessura da lâmina d'água (d) diminui, há uma redução na sua velocidade de propagação (v). Como o período (T) não se altera, uma redução por um fator de 10 na sua velocidade leva a igual redução no comprimento de onda (lembrando que para as ondas, em geral, $v = \lambda / T$). A figura 6 representa as frentes de onda planas de um tsunami que passa do alto-mar (espessura da lâmina d'água de 5000m) para o mar raso (espessura da lâmina d'água de 50m).

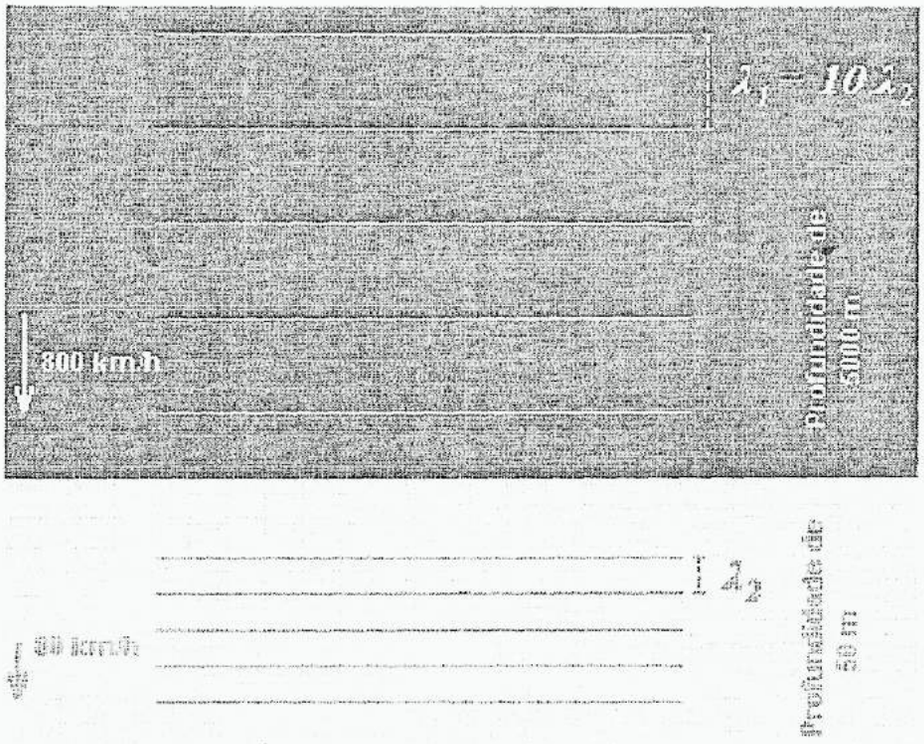

Figura 6: Redução na velocidade de propagação e no comprimento de onda de um tsunami.

3.2.2.2 – ENERGIA MECÂNICA TRANSPORTADA

Ondas marítimas transportam energia mecânica; em Elmore e Heald (1988; p. 203-205) encontram-se as equações as equações que permitem calcular as densidades de energia potencial, cinética e mecânica e a intensidade (densidade de potência) de ondas na superfície de líquidos.

Deve-se saber previamente que a energia mecânica (E) que se encontra ao longo de um comprimento de onda em uma onda com frente de onda com extensão z, é diretamente proporcional ao quadrado da amplitude da componente transversal máxima da onda (H), ao comprimento de onda (λ) e à extensão da frente de onda (z), como segue

$$E = (1/2)\, \rho\, g\, H^2\, \lambda\, z \qquad (3)$$

onde ρ é a densidade da água.

De acordo com a equação (3), a energia mecânica transportada ao longo de um frente de onda é igual à energia potencial gravitacional de um paralelepípedo de água cuja base tem arestas z e λ, e cuja altura é H.

O Tsunami em alto-mar tem amplitude pequena; mesmo assim transporta grande quantidade de energia devido ao seu grande comprimento de onda[1]. Quando se aproxima da costa oceânica, passando para regiões menos profundas, a sua velocidade de propagação, e conseqüentemente o seu comprimento de onda, reduz-se (conforme já discutido na seção anterior). Como há pouca dissipação de energia neste processo, a energia transportada permanece inalterada, de modo que

$$E_1 = E_2 \qquad (4)$$

A relação (3) permite reescrever a igualdade (4) na forma

$$H_1^2 \lambda_1 z_1 = H_2^2 \lambda_2 z_2 \qquad (5)$$

donde

$$H_2/H_1 = (\lambda_1/\lambda_2)^{0,5}.(z_1/z_2)^{0,5} \qquad (6)$$

Dado que a razão entre os comprimentos de onda é igual à razão entre as velocidades de propagação (lembrar da equação $v = \lambda T$), e sendo a velocidade de propagação expressa pela equação (2), obtém-se

$$H_2/H_1 = (v_1/v_2)^{0,5}.(z_1/z_2)^{0,5} \qquad (7)$$

ou ainda,

$$H_2/H_1 = (d_1/d_2)^{0,25}.(z_1/z_2)^{0,5} \qquad (8)$$

A equação (8) demonstra que dois fatores geométricos, a razão entre as

[1] – Um Tsunami com amplitude transversal de 1m e comprimento de onda de 200 Km transporta, ao longo de seu comprimento de onda, a energia mecânica de 1 GJ por metro de sua frente de onda.

espessuras das lâminas d'água e a razão entre as extensões das frentes de onda, são importantes para a modificação da amplitude transversal máxima dos Tsunami.

Admitindo-se que a extensão da frente de onda permaneça inalterada, isto é, $z_1 = z_2$, chega-se à chamada Lei de Green (Bryant, 2001; p. 31), dada por

$$H_2/H_1 = (d_1/d_2)^{0,25} \qquad (9)$$

Um Tsunami que passa do alto-mar, onde tinha 1 m de amplitude transversal máxima e onde a espessura da lâmina d'água era cerca de 5.000 m, para uma região próxima à costa, onde a espessura da lâmina d'água se reduziu a 20 m, atingirá aí a amplitude transversal máxima de cerca de 4 m, conforme se calcula facilmente pela equação (9)

$$H_2 = (5000/20)^{0,25}.1 = 3,98 \text{ m}$$

O gráfico da figura 7 representa a amplitude de um Tsunami, que em alto-mar (d_1 = 5.000 m) tem a amplitude H_1 = 1m, em função da espessura da lâmina d'água. O gráfico foi construído em escala logarítmica para a variável independente.

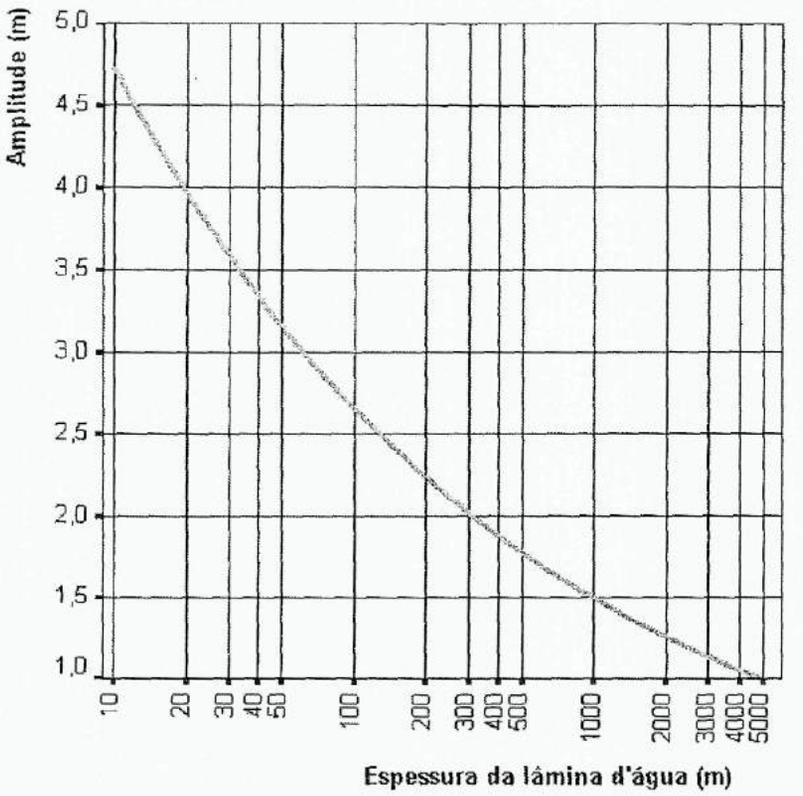

Figura 7: Relação da amplitude transversal máxima de um Tsunami com a espessura da lâmina d'água por onde ele se propaga.

O crescimento da amplitude, concomitante com o encurtamento do comprimento de onda, torna-se cada vez mais acentuado à medida que o Tsunami se aproxima da costa; somente quando o Tsunami atinge regiões onde a lâmina d'água tem pequena espessura é que acontece o agigantamento, o que é possível graças ao recuo (recessão) do mar no litoral (ver figura 8 do agigantamento da onda ao se aproximar da costa).

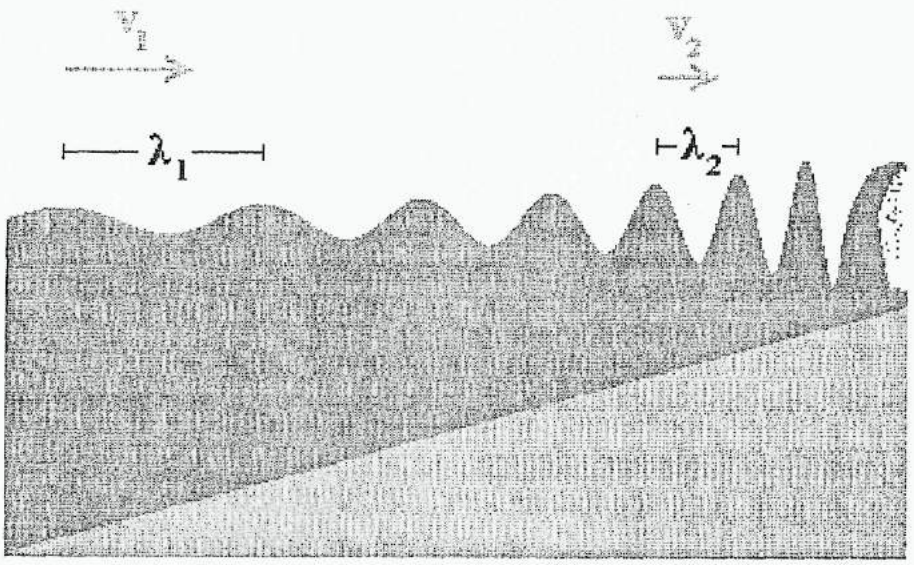

Figura 8: Ao se aproximar da costa, a velocidade de propagação e o comprimento de onda de um Tsunami decrescem enquanto a sua amplitude aumenta.

Concluindo, a física básica das ondas do Tsunami é igual àquela de ondas oceânicas usuais induzidas pelo vento, exceto pelas diferenças nos períodos e comprimentos de ondas (Lay e Wallace, 1995).

3.2.3 – PROPOSTA DE ABORDAGEM PARA O ENSINO MÉDIO

Os itens 3.2.2 e 3.2.3 serviram para mostrar um formalismo matemático acerca do fenômeno do Tsunami que justifique a formação em nível superior. Porém, como o curso que então se conclui é de Licenciatura em Física, ou seja, curso para formar professores de Física dos ensinos fundamental e médio, desenvolve-se neste momento uma proposta de ensino da Física do Tsunami que esteja em consonância com a realidade atual brasileira em termos do ensino médio.

Seria apropriado então trabalhar com os alunos sobre a seguinte questão: O que tem de comum essas ondas Tsunami no alto mar e perto da costa? Energia? Volume de água?

No intuito de responder esta pergunta, considera-se que a mecânica dos fluidos fornece a velocidade (v) de um Tsunami para comprimento de onda (λ) >> d como sendo a equação (2)

$$v = (gd)^{1/2} \qquad (10)$$

Então, se a profundidade do oceano for de 4km, a velocidade será de 720km/h, ou seja, a velocidade de um Tsunami é comparável a de um avião à jato (Lay e Wallace, 1995). Ou seja, enquanto se aproxima do litoral o Tsunami reduz sua velocidade já que a profundidade do mar (d) diminui.

No contexto, como quase não há perdas de energia (Silveira e Varriale, 2005), (Souza, 2006), tem-se que a energia mecânica (E_m) de uma onda Tsunami no intervalo de um comprimento de onda (λ), por exemplo entre dois vales (ou depressões), é conservada. Logo, a soma da energia cinética (E_c) com a energia potencial gravitacional (E_{pg}) é constante, ou em termos matemáticos

$$E_m = E_c + E_{pg} \qquad (11)$$

ou melhor,

$$E_m = (1/2)mv^2 + mgh \qquad (12)$$

sendo m a massa e h a amplitude da onda Tsunami.

Redução na velocidade significa de acordo com equação (12) diminuição da energia cinética, porém, pela conservação da energia mecânica deverá haver um aumento concomitante da energia potencia gravitacional (Souza, 2006), (Lay e Wallace, 1995). Nesse sentido, pensa-se a onda Tsunami no intervalo entre dois vales como sendo equivalente a um paralelepípedo (ver a figura 9 da representação geométrica equivalente à onda Tsunami e figura 10 de uma ilustração realista desta representação).

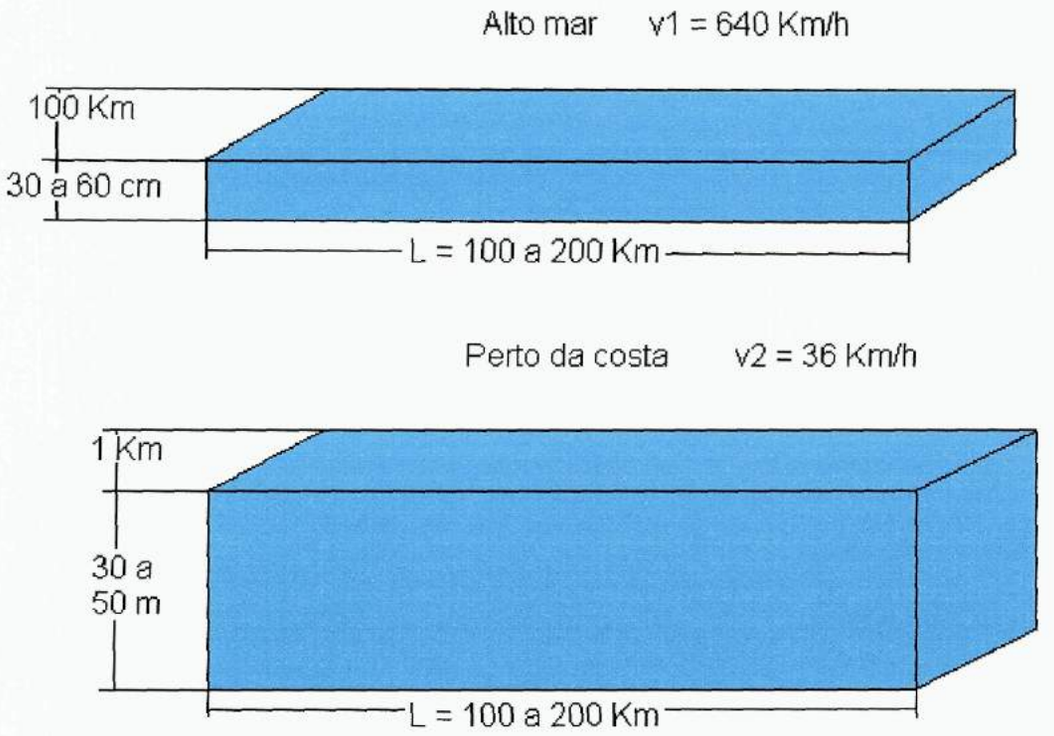

Figura 9: Representação (paralelepípedo) da onda Tsunami.

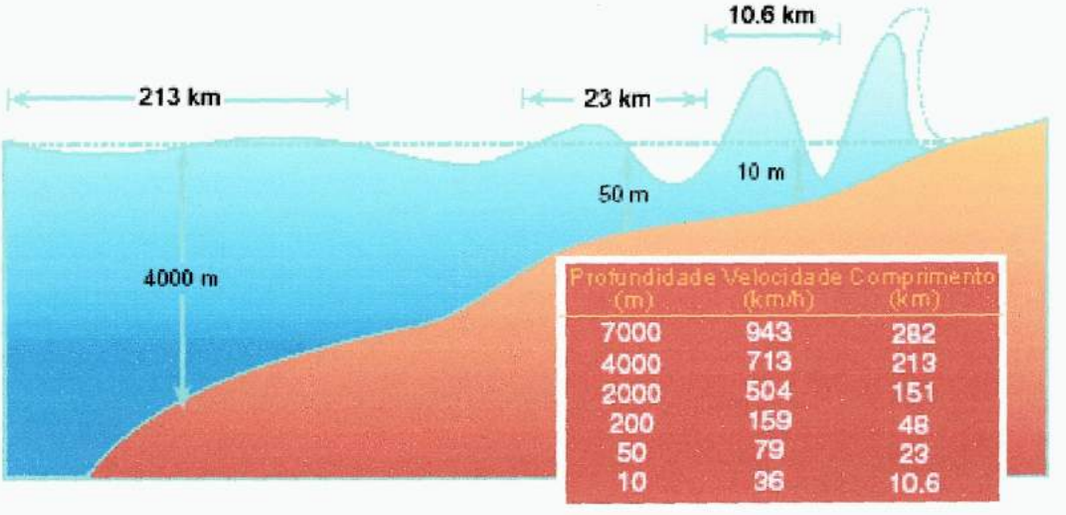

Figura 10: Representação ilustrativa da figura 21, na qual se observa a variação do comprimento de onda, da amplitude e da velocidade de propagação de um Tsunami à medida que a profundidade diminui, ou seja, ao se aproximar de regiões costeiras (Revista Quantum, 2005).

Então, para que haja aumento da energia potencial gravitacional é necessário que a massa, a amplitude ou ambos aumentem. Todavia, como há conservação da massa entre os dois vales ocorrerá aumento na amplitude da onda Tsunami, o qual é possível devido ao recuo (recessão) do mar no litoral, que é o único aviso natural da chegada da onda Tsunami (ver as figuras 11 e 12 do aspecto aéreo de um litoral antes e durante a recessão do mar em Kalutara Beach, no Sri Lanka).

Figura 11: Litoral antes da recessão (Carleton College).

Figura 12: Litoral durante a recessão (Carleton College).

3.2.4 – INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES

Em alguns casos, formam-se várias ondas grandes, separadas por intervalos de alguns minutos ou mais, e a primeira destas ondas nem sempre é a maior. Contudo geralmente, a primeira grande onda é precedida por extraordinária recessão de água da praia (já tratada) por vários minutos ou até meia hora de antecedência de sua chegada (Bullen e Bolt, 1985).

Contribuem também para o crescimento da amplitude efeitos geométricos do litoral, isto é, em águas rasas próximas do litoral o Tsunami encontra variações bruscas de profundidade, particularmente, nas enseadas com formas de **U** ou **V** ou em baías com entradas amplas na forma de U, levando a amplitude a aumentar drasticamente a ponto de atingir altura da ordem de 20-30m. Inclusive, freqüentemente a frente de onda na enseada é quase vertical e a velocidade de chegada da ordem de 36 Km/h.

Observa-se que são justamente nas regiões baixas nas cercanias de enseadas ou baías que as maiores perdas humanas e materiais ocorrem, pois as costas são varridas pelos Tsunami por encontrar significativa liberdade para avançar; entretanto, todos os litorais próximos também podem ser castigados (Byerly, 1942), (Bullen e Bolt, 1985),(Machado, 1970).

Fato que chama é que o distúrbio inicial causador do Tsunami pode estar a certa distância da costa mais próxima. Por exemplo, no grande Tsunami de 15 de Junho de 1896, que devastou a região de Sanriku na costa nordeste do Japão, o lugar de origem do terremoto submarino foi estimado estar a 150 - 200 Km do litoral, de modo que não houve dano do terremoto na região. Já o Tsunami, que só chegou uma hora depois do terremoto ser sentido gerou uma onda que atingiu a altura de 30 metros em Ryôri, além de seis grandes ondas em intervalos de 7 a 34 minutos que varreram a cidade de Miyako, resultando ao todo na destruição de mais de 10.000 casas e perda de 27.000 vidas.

Sensores de pressão hidráulica no oceano profundo podem registrar a passagem de Tsunamis maiores do que alguns milímetros, porém a maioria dos registros de Tsunami são medidas da maré (os aparelhos são chamados marégrafos) feitas em portos (Lay e Wallace, 1995). Inclusive, chegando a costas distantes, as ondas são somente observadas nas medidas de maré (Byerly, 1942), (Bullen e Bolt, 1985), (Lay e Wallace, 1995).

Porém, felizmente os Tsunamis são fenômenos naturais relativamente raros, com cerca de um evento ocorrendo por década.

A devastação do Tsunami de 2004 contribuiu para salientar o papel dos manguezais na preservação das costas de países tropicais. Destaca-se também essas funções dos manguezais nesta monografia.

A física que ocorre quando o Tsunami atinge o manguezal é complexa. Pode-se destacar o fato de que os manguezais possuem um papel de barreira dissipadora de energia do tsunami. Isto porque ao encontrar as florestas de mangues, ele penetra no emaranhado de raízes aéreas formando-se inúmeros turbilhões que atuam como pequenos dissipadores de energia. O efeito total é dissipar o próprio tsunami. Foram observados que as plantas de mangues não são arrancadas pela passagem do tsunami. Isso seria uma interpretação de que essas barreiras teriam o papel de diques de concreto que os países pobres não poderiam construir para impedir ou amenizar a ação destrutiva dos tsunamis. Já na região tropical, considerando a importância dos manguezais, deveria existir uma política de recuperação das florestas de mangues nos países pobres das regiões tropicais do planeta.

3.3 - O TSUNAMI DO DIA 26 DE DEZEMBRO DE 2004

Num dia de domingo, em 26 de Dezembro de 2004, as 7:58:53h, no tempo local no epicentro (Sábado, dia 25 de Dezembro de 2004, as 22:58:53h, pelo horário de Brasília), na posição 3.316°N (latitude) e 95.854°E (longitude) (USGS), ocorreu um terremoto no Oceano Índico de 9.1 graus na escala Richter produzindo um Tsunami que atingiu as regiões sul e sudeste da Ásia e leste da África (ver figura 13 da posição global do terremoto causador do tsunami). Esse tsunami é considerado uma das maiores catástrofes naturais da história. O país mais prejudicado na Ásia foi a Indonésia que teve 220 mil óbitos, 46 mil feridos e 135 mil casas destruídas (ver figura 14 do mapa da Indonésia). A destruição foi de tal proporção que na época o governo indonésio disse que seria impossível levantar o número de mortes (Folha Online, 03/01/2005, 13/01/2005 e 17/07/2006), (MRE, 07/07/2007).

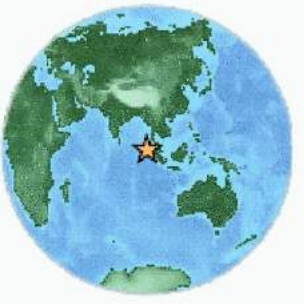

Figura 13: Posição do epicentro do terremoto que gerou o Tsunami, que neste caso coincidiu com o local de formação do tsunami (USGS).

Figura 14: Indonésia, país mais gravemente atingido pelo tsunami de 26 de dezembro de 2004 (Ferreira, 2002).

A Indonésia não foi o único país atingido; pela ordem, segundo números da agência Reuters, vem o Sri Lanka com 30.728 mortos e 16.760 feridos, a Índia com 15.636 (esta cifra inclui desaparecidos e mortos presumidos), a Tailândia com 5.305 mortos e 8.457 feridos, a Malásia e Mianma tiveram 74 mortos cada e Bangladesh com 2 mortos. Já na África, a Reuters indica 137 mortes para o Quênia, Ilhas Seychelles, Somália, Tanzânia e Madagascar (ver figura 15 da região com os países atingidos pelo tsunami).

Figura 15: Os países atingidos pelo Tsunami (Ferreira, 2002).

A tragédia de 26/12/2004 causou a morte de quase 272 mil pessoas, deixando mais de 71 mil feridos além das perdas materiais tão gigantescas, que vários países e a ONU (Organização das Nações Unidas) iniciaram imediatamente trabalho de ajuda. A ONU esteve empenhada numa operação sem precedentes para alimentar, pelos seis meses subseqüentes, um número superior a 2 milhões de sobreviventes do Tsunami no continente asiático, com foco em crianças e mulheres grávidas; operação com custos estimados em US$ 180 milhões (James Morris, diretor executivo do Programa Mundial de Alimentos). Segundo o secretário-geral da ONU, Kofi Annan, as áreas atingidas pelo maremoto na Ásia devem levar até dez anos para se recuperar. Além do risco de epidemias, outros agravantes para o trabalho de ajuda foram as dificuldades de se chegar a determinados lugares, tidos como remotos e isolados, e que tiveram sua infra-estrutura (estradas e pontes) dramaticamente comprometida pelas águas.

O então presidente da Indonésia, Susilo Bambang Yudhoyono, afirmou após a tragédia que o país iria criar um sistema de alerta de Tsunamis junto com países vizinhos. *"A Indonésia e outros países vizinhos planejaram criar um sistema de prevenção contra desastres naturais, incluindo terremotos e maremotos"*, afirmou, sendo apoiado pelo governo da Tailândia proposta, a fim de *"devolver a confiança aos turistas na região"*, disse na época o então ministro das Relações Exteriores da

Tailândia, Surakiart Sathirathai. Atualmente o Centro Internacional de Informações sobre Tsunamis (ITIC) envia mensagem de alerta de Tsunami para a região da Indonésia e da Austrália (Folha Online, 08/01/2005, 13/01/2005 e 17/07/2006).

3.4 – O "ANJO DA PRAIA" QUE SALVOU A VIDA DE 100 PESSOAS

Um fato peculiar que chamou atenção durante o Tsunami de 26 de Dezembro de 2004 ocorreu na praia tailandesa de Maikhao: Tilly Smith, uma criança britânica de apenas 10 anos, utilizou seus conhecimentos sobre Tsunami adquiridos duas semanas antes do Natal numa aula de Geografia para salvar a vida de 100 pessoas (UOL UN, 02/01/2005).

Tilly sentiu que algo estava errado quando o mar desaparecia enquanto sentada na praia com sua família, e a memória a levou de volta para a lição de Geografia que teve com o professor Kearney, somente duas semanas antes de voar com sua família para o resort (local de veraneio) Thai. Os Smiths, do sudeste da Inglaterra, estavam celebrando o Natal na praia de Maikhao em Phuket, sul da Tailândia (NGN, 18/01/2005). Enquanto outros turistas permaneceram onde estavam para observar o mar recuar e os barcos e peixes serem depositados sobre a areia, Tilly reconheceu o sinal de perigo, pois havia feito um trabalho de escola sobre as ondas gigantes causadas por terremotos.

"*Eu estava na praia e o mar começou a ficar de um jeito estranho*", disse Tilly Smith ao The Sun, no fim de semana, de Phuket, na Tailândia.

"*Começaram as bolhas e a maré recuou de repente, de uma vez só. Eu percebi o que estava acontecendo e pressenti que viria um Tsunami. Eu disse isso à mamãe*", completou ela (UOL UN, 02/01/2005).

"A praia estava ficando cada vez maior", disse Penny Smith, mãe de Tilly. "*Eu me senti forçada a olhar, contudo eu não sabia o que estava acontecendo. Então Tilly disse que havia recentemente estudado isto na escola – ela falou sobre placas tectônicas e um terremoto sob o mar. Ela foi ficando mais e mais histérica. Por fim, ela estava gritando para nós sairmos da praia*".

O pai de Tilly, Colin Smith, disse aos outros turistas que foi alertado pela aflição de sua filha enquanto levava Tilly e sua irmã, de sete anos de idade, de volta para o hotel.

Penny Smith acrescenta, "*Eu não sabia o que era um Tsunami, porém vendo minha filha tão assustada fez-me pensar que algo sério devia estar acontecendo*".

Quando a avalanche de água invadiu o hotel, "*Tudo entrou na piscina – camas, palmeiras, tudo*" disse Penny Smith. "'*Mesmo que você não tivesse se afogado, você teria sido batido por algo*" (NGN, 18/01/2005). Porém, a ação rápida dela (mãe de Tilly) e dos funcionários do hotel tailandês possibilitou que a praia de Maikhao fosse esvaziada, minutos antes da chegada da onda. A praia foi uma das poucas na ilha de Phuket onde ninguém morreu (UOL UN, 02/01/2005).

Um ano depois da tragédia, Tilly Smith, apelidada de "Anjo da Praia", voltou à cena do desastre por um dia, com um poema. "*Não foi a devastação ou a morte que venceu. Foi a humanidade que triunfou*", escreveu a garota (MRE, 07/07/2007).

3.5 – O PAPEL DOS MANGUEZAIS NA DEFESA CONTRA TSUNAMIS

Esta seção está quase toda baseada no artigo *How effective were mangroves as a defence against the recente tsunami?* de Dahdouh-Guebas et al (2005) e *Forests of the Tide* da National Geographic (2007).

Com um "pé na terra e um no mar", as plantas mangues são anfíbios botânicos adaptadas às zonas de calor escaldante, lama sufocante, e níveis de sal que matariam qualquer planta comum dentro de horas. No entanto, as formas das florestas de mangues estão entre os mais produtivos e biologicamente complexos ecossistemas da Terra. Funcionam como terras de reprodução, desova, chocagem e reabilitação para espécies marinhas e são lugares de descanso de pássaros na cobertura, moluscos prendem-se às raízes, e cobras e crocodilos vem para caçar. Mangues fornecem: (a) terras de viveiro para peixes; (b) uma fonte de alimentos para humanos, macacos, caranguejos, até cangurus; (c) uma fonte de néctar para morcegos e abelhas de mel; (d) hábitat fundamental para espécies ameaçadas, desde tigres e crocodilos a frágeis beija-flores (Ver figura 16 do manguezal fornecendo terras de viveiro para peixes e outras vidas marinhas).

Figura 18: Raízes entrelaçadas.

Figura 19: Obstáculos contra a erosão marítima no litoral.

Apesar de sua importância ecológica, os manguezais são degradados e destruídos pelos humanos no mundo inteiro, sendo sacrificados por causa do desenvolvimento de habitação, estradas, portos, hotéis, campos de golfe e fazendas. O manguezal da Ilha do Fundão é um exemplo dessa degradação. Globalmente, uma grande ameaça à sobrevivência dos mangues vem do cultivo do camarão (as chamadas fazendas de camarão) na zona litorânea ocupada pelos

mangues (ver figura 20 das fazendas de camarão). Além disso, os mangues morrem de inúmeras formas indiretas: derramamentos de óleo, poluição química, e quebra do seu equilíbrio de salinidade e água, de tal forma que essa perda deveria ser uma fonte de preocupação global. Na segunda metade do século 20, 50% das florestas de mangues do mundo estavam destruídas, e as recentes taxas anuais de perdas variam de 1 a 20%.

Figura 20: Fazendas de camarão.

Todos esses argumentos extremamente relevantes não conseguiram frear a negligência e o desrespeito dos seres humanos com os manguezais. Entretanto, recentemente, a conservação dos mangues ganhou um impulso significativo com a grande tragédia humana do Tsunami do Oceano Índico de 2004. Naquela região do Tsunami, as florestas de mangues que estavam intactas à ação humana serviram como quebra-mar natural, dissipando energia das ondas, salvando vidas e aldeias, e suavizando perdas de bens.

Assim, as perdas de vidas humanas do Tsunami serviram como estímulo para uma melhor compreensão do que as florestas de mangues (ver figura 21 (B) de um crescimento recente de manguezais) podem fazer pelo bem-estar dos humanos. Porém, na prática a lógica de concessão de licença para destruir os "biodefensores"

(mangues) parece que não só falha, mas também reprime a ação dos que defendem os mangues.

Após o Tsunami do Oceano Índico, especialistas e a mídia perguntam-se quantas vidas poderiam ter sido salvas se as florestas de mangues não tivessem sido destruídas para atrair turistas. Contudo, os desconfiados com o "modismo ecológico" opõem-se: "*temor de grandes ondas não é razão para plantar mangues*". Independente da opinião, o fato é que a visão popular e amplamente aceita é de não reconhecer que os mangues são verdadeiras fontes de vida. Surpreendentemente, é pequena a difusão de dados disponíveis para testar essa hipótese. No Brasil, há mais de 50 anos, Josué de Castro, autor do livro "Geografia da Fome" já salientava a importância dos manguezais para a sobrevivência de nordestinos.

É oportuna, portanto, a questão: qual o futuro papel que as florestas de mangues devem representar na proteção e enriquecimento ecológico da zona costeira? A resposta não é simples, pois há muitos tipos diferentes de florestas de mangues e uma ampla variedade de cenários, e em alguns lugares os mangues estão simplesmente ausentes do ambiente natural. Mas as mudanças climáticas indicam que não temos muito tempo para decisão.

Independentemente de observações ocasionais e evidências fotográficas de árvores terrestres desarraigadas, a evidência científica mais próxima para a função pára-choque dos mangues vem de estudos sócio-econômicos e etnobiológicos que enfocam os serviços das florestas de mangue. Durante os últimos anos, equipes conduziram entrevistas localmente com pessoas no México, Gâmbia, Camarão, Tanzânia, Quênia, Índia, Sri Lanka e Vietnã, fazendo perguntas sobre seu relacionamento com as florestas de mangue e sobre os serviços que elas fornecem: madeira de construção e de fogo; produtos etnomedicinais; habitat de pesca; proteção costeira; e assim por diante.

Os resultados das observações sobre as áreas devastadas mostraram que, onde existiam mangues nos distritos visitados, eles, de fato, ofereceram proteção. Mais especificamente, estudos em povoados e observações pós Tsunami deixam claro que mangues desempenharam um papel crucial na proteção contra tempestades. O ponto fundamental a proteção de que dependeu da qualidade da floresta de mangue, ou seja, quanto menor a ação humana mais eficientemente os manguezais atuaram; ver figura 21 (A) do manguezal após a passagem de um tsunami.

Figura 21: (A) Manguezal após passagem de tsunami e (B) crescimento de um novo manguezal. Em (A) o impacto do Tsunami foi deixar os ramos encurvados ou arrancados, ao passo que as áreas terrestres e zonas internas aos mangues foram amplamente não afetadas.

Uma mensagem geral dos resultados deste estudo sobre os manguezais é que o modo como os humanos usam, planejam e gerenciam seus habitats pode implicar em conseqüências profundas e indesejáveis. Particularmente a conversão de terras de mangue em fazendas de camarão, em resorts turísticos, em terras agrícola ou em área urbana, durante as últimas décadas, bem como a destruição de recifes de corais próximo da costa, contribuíram significativamente para a catastrófica perda de vidas humanas e de propriedades durante o recente evento do Tsunami de 26 de Dezembro de 2004.

CONCLUSÃO

O objetivo desta monografia é de contribuir com um exemplo que possa estimular os professores de Física do ensino médio a recorrerem a fenômenos atuais e de grande impacto social para enriquecerem suas práticas docentes. Essa prática permitiria que os estudantes percebessem a importância e a dimensão que podem ter os conhecimentos adquiridos na escola, mesmo aqueles tidos como distantes de seus cotidianos.

Existem críticas e limitações quanto ao objetivo fundamental do presente trabalho. Os professores geralmente não mantêm acesso regular aos meios de comunicação (jornais impressos, telejornais, revistas, internet e rádio) e não possuem tempo hábil para realizarem pesquisas em bibliotecas, revistas, internet, entre outros, a fim de elaborarem um planejamento inovador para suas práticas pedagógicas. Geralmente, esses professores são obrigados a enfrentarem uma jornada de trabalho semanal exaustiva para terem rendimentos dignos, dado a acentuada desvalorização do magistério no país. Além disso, os professores quanto buscam inovar acabam esbarrando em barreiras impostas pelos dirigentes das escolas contra iniciativas diferenciadas, já que estas remetem a trabalhos extras de alguns funcionários e maiores gastos para a escola. Por outro lado, pensando nos estudantes, eles também não dispõem de contatos constantes com fontes de comunicação apropriadas a fim de obterem informações ou pesquisarem sobre eventos, dado que geralmente não possuem computador em casa e as bibliotecas localizam-se distantes de suas casas. Não há na realidade de muitos estudantes fatores que o estimulem diante dos assuntos em evidência na mídia.

Entretanto, há indícios de que este quadro está gradativamente alterando-se, pois tem crescido o número de centros de inclusão digital nas comunidades carentes por parte dos governos. São iniciativas que criam pequenas bibliotecas em lugares estratégicos para que a população de baixa renda tenha acesso fácil a livros e revistas (MCT),(IBICT),(JC, 13/03/2006), (PS, Agosto de 2007), (BFL, de 6 a 13/03/2006), (PNLL). Além disso, abrem-se outras possibilidades para o futuro quanto à inclusão digital, pois o Plano Federal PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) contempla a aquisição de laptops e de internet pelas escolas públicas (RPF, Janeiro de 2007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros e Atlas

Bryant, E. *Tsunami. The underrated hazard.* Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

Bullen, K., E. & Bolt, B., A., *An Introduction to Theory of Seismology*, 1985. 319-321.

Byerly, P., *Seismology*, New York, Prentice-Hall Inc., 1942. 71-73.

Castro, J. de, *Geografia da Fome*, 1953 (Informação do orientador).

Fazenda, I., *A Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa*, SP, Papirus, 2001, 7ª edição. 84.

Ferreira, G. M. L., *Atlas Geográfico – Espaço Mundial*, São Paulo, Editora Moderna, 1ª Edição Revista, 2002, 41, 53, 69.

González, M. T. & Escudero, J. M., *Innovación educativa: teorias y proceso de desarrollo*, Barcelona: Humánitas, 1987.

Hernández, F., Sancho, J. M., Carbonell, J., Tort, A., Simó, N. e Sánchez-Cortés, E., *Aprendendo com as Inovações nas Escolas*, Porto Alegre, Editora Artmed, 2000. 26, 29, 35.

Lay, T. & Wallace; T. C., *Modern Global Seismology*, 1995. 147-153.

Machado, F., *Curso de Sismologia*, Lisboa, Estudos, Ensaios e Documentos N°125, 1970. 116-118.

Oliva, J. e Giansanti, R., *Espaço e Modernidade: Temas da geografia Mundial*, São Paulo, Editora Atual, 1ª edição, 1996. 302, 303.

Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, Brasília, Ministério da Educação (ME) / Secretaria de Educação Básica (SEB) / Departamento de Políticas do Ensino Médio, 2006. 51-53, 62, 63.

Paraná, D., N., S., *Física: Mecânica*, Volume 1, São Paulo, Editora Ática, 6ª edição, 1998. 266-269, 290, 291.

Paraná, D., N., S., *Física: Termologia, Óptica e Ondulatória*, Volume 2, São Paulo, Editora Ática, 6ª edição, 1998. 350-354, 356, 357.

Solà, P., *La innovación educativa y su contexto histórico social*, Cuadernos de Pedagogia, 1980, 33-36.

Walling, E. & Berg, G., *Research into the School as an Organization*, Scandinavia Journal of Educational Rev., 1983, 27, 35-47.

Artigos, Periódicos e Ensaios

Dahdouh-Guebas, F., Jayatissa, L., P., Di Nitto, D., Bosire, J., O., Lo Seen, D. and Koedam, N., *How effective were mangroves as a defence against the recente tsunami?*, ScienceDirect - Current Biology, Editora Elsevier, Vol 15 No 12, 2005. R443-R447.

Elmore, W. C. e Heald, M. A. *Physics of Waves*. New York: Dover, 1988.

Silveira, F. L. e Varriale, M. C., *Propagação das ondas marítimas e dos tsunami*, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, V. 22, N. 2, 2005, P. 190-215.

Souza, J., L., *Observatório Nacional – 175 anos de História*, RJ, Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002. 42-47.

Souza-Barros, F., *Tendências atuais dos projetos de Armas Nucleares*, Revista Ciência em Tela – Rede de Divulgação e Educação em Ciências da UFRJ (comunicação particular - submetido).

Revistas, Textos e Apostilas

Asian Tsunami Imagery, *2004 Asian Tsunami Maps*, http://wwwglobalsecurity.org.

Boletim Fome de Livro (BFL) _ VIVALEITURA, *Investimento em novas bibliotecas em 2005 foi o maior da história,* edição Nº 78, de 6 a 13 de março de 2006, http://www.vivaleitura.com.br.

Carleton College, *Tsunami Visualizations*, Teaching Geoscience with Visualizations: Using Images, Animations, and Models Effectively, http://serc.carleton.edu.

Folha Online, *Tsunami de 26 de Dezembro de 2004*, Edição de 08/01/2005, 13/01/2005 e 17/07/2006, http://www1.folha.uol.com.br.

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), *Inclusão Digital – Iniciativas no Brasil*, http://inclusao.ibict.br.

IPCC, 20007 – *Relatório da Comissão de Mudanças Climáticas das Nações Unidas, fevereiro de 2007.* A comissão recebeu o Prêmio Nobel da Paz de 2007 pelo trabalho de verificação técnico-científica do aquecimento global devido à atividade humana.

Jornal da Ciência (JC) _ Órgão da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), *Aziz Ab'Saber monta biblioteca para carentes*, 13/03/2006, http://www.jornaldaciencia.org.br.

Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), *Programa 1008 – Inclusão Digital,* Inclusão Social, http://www.mct.gov.br.

Ministério das Relações Exteriores (MRE), Noticiário - Seleção Diária de Notícias Nacionais, *O "anjo da praia" - a garota inglesa Tilly Smith*, Edição de 07/07/2007(Fonte: Folha de São Paulo de 27/12/2005), http://www.mre.gov.br.

National Geographic News (NGN), *Tsunami Family Saved by Schoolgirl's Geography Lesson*, 18/01/2005, http://news.nationalgeographic.com/news.

Planeta Sustentável (PS) _ Editora Abril, *Caridade é um grande negócio*, Agosto de 2007, http://planetasustentavel.abril.com.br.

Plano Nacional do Livro e Leitura (PNLL) _Ministério da Cultura e da Educação, *O que é o PNLL?*, http://www.pnll.gov.br.

Revista de Pesquisa da FAPESP (RPF), Política de C & T:: *Inclusão digital _ Revolução na sala de aula _ Governo define até abril qual será o modelo de laptop destinado a alunos de escolas públicas*, Edição Impressa 131 - Janeiro 2007 ou Edição Online de 13/09/2007, http://www.revistapesquisa.fapesp.br.

Revista Quantum, *Tsunami no Índico _ Causas e Conseqüências*, Departamento de Física da FCUL (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa), 2005, http://fisica.fc.ul.pt/~quantum.

Souza, J., L., *Introdução à Sismologia*, RJ, Observatório Nacional, 2006. 3.5-3.7, I.4.

National Geographic - February 2007, VOL. 211 - NO. 2, *Forests of the Tide*, pages 132-151.

United States Geological Survey (USGS), National Earthquake Information Center, *OFF THE WEST COAST OF NORTHERN SUMATRA*, http://earthquake.usgs.gov.

UOL Últimas Notícias (UOL UN) _ Internacional, *O "anjo da praia" - a garota inglesa Tilly Smith*, Edição de 02/01/2005, http://noticias.uol.com.br.